



## **Mission d'appui à l'activité 5 du Projet FERTIPARTENAIRES**

### **Élaboration de systèmes de cultures productifs et durables**

**Rapport de mission à Bobo-Dioulasso  
(Burkina Faso) 3 -11 novembre 2011**

**Patrice AUTFRAY**

**URSIA**

**CIRAD**

**Janvier 2011**

## INTRODUCTION

Cette mission s'est focalisée en cette dernière année du projet Fertipartenaires à la synthèse des résultats, après donc 4 pleines campagnes agricoles successives, incluant 2008 à 2011.

Ce rapport présente essentiellement le point central de la mission, constitué par le Comité de thèse de K.Coulibaly, à sa préparation, ses recommandations et aux perspectives de valorisation par articles (thèse sur publications).

Nous avons volontairement limité et simplifié le texte du rapport en mettant l'accent sur les tableaux et figures.

Nous remercions E.Vall pour sa disponibilité malgré ses nombreuses tâches et l'entière disponibilité de K.Coulibaly, jours fériés compris.

C'est toujours en fin de projet que les résultats arrivent à être les plus intéressants. Heureusement qu'un minimum d'activités continueront dans le cadre du projet ABACO.

Le plan de ce rapport est articulé autour de 3 chapitres,

1. BILAN TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE DES 4 ANNEES
2. THESE ET ARTICLES
3. PERSPECTIVES DANS LE CADRE D'ABACO

ANNEXES

## CALENDRIER

**Tableau 1. Calendrier de mission avec points focaux.**

Date	Objet	Personnes concernées
3/11	Voyage MTP-Ouagadougou	-
4/11 matin	Ouagadougou-Bobo Dioulasso	-
4/11 après-midi	Premier bilan	E.Vall, K.Coulibaly, , N.Andrieu
5/11	Tournée de terrain	K.Coulibaly
6/11 matin	Bilan activité 5 sur 4 années	K.Coulibaly
6/11 après-midi	Travail en appui à la thèse	-
7/11 matin	Préparation Comité de Thèse	K.Coulibaly
7/11 après-midi	Travail personnel pour bibliographie	-
8/11	Aspects méthodologiques	K.Coulibaly
9/11	Comité de thèse	M.Sédogo, H.B.Nacro, I.Somba, B.Baycé, E.Vall, K.Coulibaly
10/11	Programmation future ; perspectives ABACO	C.Coulibaly, E.Vall
11/11 matin	Aspects méthodologiques Perspectives ABACO	M.Blanchard E.Vall
11/11 après-midi	Bobo Dioulasso-Ouagadougou	-
11/11 soir au 13/11	Voyage Ougadougou-Laos	-

## **1. BILAN**

### **1.1 Introduction**

Un bilan complet est donné dans le **Tableau 2** pour les 5 thèmes concernés par l'activité 5. Pour les publications, seuls les résultats des 2 dernières campagnes seront valorisés, considérant que les 2 premières ont été des campagnes d'ajustement. Deux thèmes ne seront pas traités dans la thèse et paraissent les points faibles de l'activité 5, notamment car ces activités s'inscrivent sur du long terme, à savoir SCV et Agroforesterie. Nous apporterons quelques éléments dans ce rapport concernant l'agroforesterie et donnerons des conseils pour la suite des activités sur le thème SCV dans le cadre du Projet ABACO, sur lequel K.Coulibaly travaillera à partir de cette campagne.

### **1.2 Thème travail en sol sec**

Pour le thème Travail en sol sec, sa valorisation se fera à travers un article portant sur la méthodologie, les données servant de proposition pour l'application d'une démarche d'analyse faisant largement appel aux analyses multi-variées. Si nous avons été à l'origine du recours à l'utilisation de ce type d'analyse dès la première année (voir rapport P.Autfray, 2009), la démarche d'ensemble suivie avait été utilisée lors de la thèse de M.Blanchard (2010) mais non publiée. Il s'agirait ici donc à travers un article de mieux la formaliser.

Les acquis techniques sont en effet limités car cette pratique occasionne un surcoût de travail important même si cela se déroule en période où la charge de travail est plus limitée. Nous avons cependant conseillé de l'inclure dans les thèmes à développer dans le cadre du projet ABACO en tant que technique pouvant être intégrée dans les principes d'Agriculture de Conservation (voir Chapitre 3 Perspectives).

### **1.3 Thème culture double-triple fin**

Pour le thème culture double-fin (fourrage, engrais vert) et triple fin (fourrage, engrais vert et grain) il sera bien valorisé à travers la thèse avec un chapitre spécifique concernant les cultures pures de Niébé et de Mucuna. Pour 2010 les essais cultures pures étaient bien séparés des essais cultures associées et en 2011 ils étaient associés sur la même parcelle. Les données cultures pures 2011 pourront être à la fois valorisées en les associant à celles de 2010 et aussi en étant associés au thème cultures associées, avec un projet d'article possible en supplément de celui qui sera prévu pour la thèse. Concernant les acquis techniques, seule la culture pure de Mucuna paraît en soit une innovation complète, celle de Niébé étant généralement pratiquée par les agriculteurs, même si sa culture est limitée. Même si le Mucuna n'offre pas une valorisation de ces graines, sa rusticité d'implantation, de culture et de conservation des graines la rend attractive, notamment pour les agriculteurs intéressés par la production de foin. Cette légumineuse offre également l'avantage d'offrir des reliquats azotés importants ainsi qu'un contrôle des adventices par des voies allélopathiques (voir les références scientifiques à ce sujet ; le niébé offre aussi de telles propriétés). Il est dommage que l'on ne puisse pas tester son semis avec des reliquats de tiges de cotonniers ou céréales de type sorgho ou niébé, laissés debout de manière à ce qu'elles puissent servir de tuteurs dans le cadre d'un semis direct précoce précédé d'un seul traitement au glyphosate et d'un semis à forte densité. Le tuteurage permet généralement d'améliorer fortement la production des légumineuses volubiles.

**Tableau 2. Bilan Activité 5 fin de Projet Activités**

Thème	Niveau	Travail du sol en sec	Culture double-triple fin	Associations	SCV	Agroforesterie
2008	Villages	0	7	0	0	0
	Situations	0	70	0	0	0
	Traitements	0	Mucuna pur	0	0	0
2009	Villages	7	7	7	7	0
	Situations	23 (35 au départ)	0 (35 au départ)	22 (35 au départ)	7	0
	Traitements	. Travail généralisé du sol . Travail localisé en sec	Mucuna pur	Maïs pur + N Maïs + Mucuna ou Niébé	. Coton-Maïs . . Travail généralisé du sol . SCV	0
2010	Villages	7	7	7	7	7
	Situations	23 (63 au départ)	33 (35 au départ)	23 (35 au départ)	7	48 (49 au départ)
	Traitements	. Travail généralisé du sol . Travail localisé en sec . Avec ou sans fumure organique	Jachère Mucuna pur Niébé pur	Maïs pur Maïs + Mucuna ou Niébé 10 avec Mucuna et 13 avec Niébé	. Coton-Maïs . . Travail généralisé du sol . SCV	Faidherbia albida (plantation)
2011	Villages	3 (7 au total)	3		2	7
	Situations	17 (24 au total)	38		2	62
	Traitements	. Travail généralisé du sol . Travail localisé en sec . Avec ou sans fumure organique	Jachère Maïs pur Maïs associé Légumineuse pure 13 avec Mucuna – 25 avec Niébé		. Coton-Maïs . . Travail généralisé du sol . SCV	Faidherbia albida (plantation + régénération naturelle)
Valorisation	Projet	2010-2011	2010-2011		2009-2010-2011 1 village 2009-2010 5 villages 2010-2011 1 village	2010-2011
	Thèse	2010-2011	2010-2011		Non	Non
Perspectives ABACO (EU)		. A intégrer	. A intégrer	. A intégrer	. Problématique centrale	. Non
Perspectives (CORAF)		. Pas prévu	. Problématique centrale	. Problématique centrale	. Pas prévu	. Non

## 1.4 Thème Associations

Pour le thème associations, maïs-Niébé et maïs-Mucuna, il a déjà fait l'objet d'une valorisation en 2010 d'un article centré sur les effets de la présence de la légumineuse sur le rendement en maïs avec également les temps de travaux associés. Un des résultats majeurs, outre le fait que la sensible réduction des rendements en maïs en culture associée n'est pas significative, donc pas très importante par rapport à la culture pure, est que la présence de la légumineuse n'occasionne pas un surplus notable de temps de travail (hypothèse de départ) notamment du fait que le surcroît de temps au semis de la légumineuse est compensé par l'absence de buttage. Par contre les temps de récolte de maïs et de la légumineuse n'ont pas été relevés. Le projet d'article venant d'être reviewé, nous avons mis en **Annexe 7** des suggestions de correction par rapport aux remarques faites par la revue.

## 1.5 Thème SCV

Le bilan est globalement négatif car sur les 7 expérimentations réalisées (1 par village) aucune n'a pu être réalisée dans des conditions satisfaisantes. Nous avons par ailleurs en 2009 conseillé de se limiter à une seule exploitation étant donné la difficulté du sujet. Les leçons méritent d'être tirées et complètent celles obtenues au Mali (article présenté au WCCA, World Congress of Conservation Agriculture par P.Autfray et F.Sissoko):

- Faible maîtrise technique de la première étape des SCV, à savoir une bonne association de culture céréale-légumineuses ; cela conduit généralement au bout de 3 années à une multiplication d'adventices ;
- Outils de semis manuels rejetés (canne planteuse) ; on peut évoquer le facteur culturel et aussi celui de la pénibilité du travail (outil lourd) ;
- La rotation bi-annuelle coton/céréale paraît insuffisante pour maintenir un système SCV durable en raison de la faible biomasse produite par le cotonnier.

Comme cette thématique sera centrale sur le Projet ABACO (voir chapitre 3), nous avons brièvement développé des recommandations, dans la réalisation de futures expérimentations sur le sujet, qui partent des contraintes mentionnées ci-dessus.

## 1.6 Thème Agroforesterie

Le choix du *Faidherbia albida* (FA) paraît judicieux car cette espèce est largement promue par l'ICRAF et serait selon son directeur général l'arbre d'avenir pour améliorer à moindre coût la productivité des systèmes soudano-sahéliens. Lors de ce même WCCA, DP Garrity a présenté oralement une présentation en séance plénière (*Making Conservation Agriculture ever green*) avec principalement comme idées :

- La nécessité d'avoir un usage mixte, et pour FA, une source de fourrage unique en saison sèche
- La possibilité de produire de la biomasse qui échappe aux prélèvements liés à la vaine pâture.

Ce système d'association d'arbres comme *Gliricidia sepium*, *Tephrosia candida* ou FA à des cultures annuelles est largement pratiqué au Malawi et en Tanzanie. Avec FA le système le plus intéressant est une plantation avec un écartement tous les 10 m et avec des augmentations en rendements en céréales se situant entre 6 à 200% selon l'âge des arbres.

## 2. THESE ET ARTICLES

### 2.1 Introduction

Il a été confirmé lors du Comité de thèse tenu le 9/11/11 à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut de Développement Rural, Département d'Agronomie, l'intérêt de faire une thèse sous un format de différents projets de publication associés. Une seule publication acceptée est exigée pour soutenir la thèse. La stratégie pour l'instant est d'abord que l'article sur les cultures associées soit accepté (voir **Annexe 7**). Nous avons conseillé le plan suivant mentionné dans le **Tableau 4**, qui est structuré autour de 4 projets d'articles. Nous avons proposé de rajouter un chapitre introductif faisant un point sur le thème de la problématique du maintien de la fertilité des sols en insistant sur la relative difficulté de ce sujet. Les solutions techniques existent mais trop peu de projets ont abordé ces innovations avec un souci de les intégrer avec une approche systémique et pluri-disciplinaire. Souvent la dimension socioéconomique est trop peu traitée. L'autre thème majeur qui concerne l'intégration des légumineuses au niveau de l'exploitation et des systèmes de culture a été aussi souvent abordé de manière non intégrative et vu sous l'angle pur de la fertilité et peu avec des données chiffrées sur les temps de travaux et les aspects économiques. Ce thème nous paraît être une des clefs de l'intensification écologique que l'on considère comme la voie d'avenir pour l'agriculture de demain, au sens où il s'agit bien d'associer intrants externes et processus naturels pour produire plus à court terme et durablement, tout en offrant une plus-value pour les agriculteurs.

En résumé l'originalité à donner à ce travail est l'approche méthodologique qui utilise les analyses multi-factorielles comme outil d'analyse de la variabilité issue des expérimentations en milieu paysan, dont on cherchera à mettre en relation avec les facteurs de productivité des cultures (rendements et marges). L'accent mis également sur les temps de travaux nous paraît être un facteur d'originalité de ce travail car souvent on oublie que la productivité du travail est un élément clef de l'acceptation ou non d'une innovation.

C'est pour cela que le premier article de thèse s'est centré sur les aspects méthodologiques d'analyse de données.

On retiendra donc un effort important de revue bibliographique à intégrer (plus de 200 publications ont été fournies sous format pdf) parmi lesquelles nous avons mentionné en **Annexe 8** nos dernières acquisitions.

Egalement nous avons conseillé d'introduire le contexte par un chapitre (objectives, hypothèses, sites) et de penser à articuler les différentes publications par des paragraphes introductifs résumant le précédent travail et donnant l'intérêt du travail à suivre.

## 2.2 Comité de thèse

Un compte-rendu synthétique du comité de thèse est donné dans le **Tableau 3**.

**Tableau 3. Synthèse des remarques faites lors du comité de thèse du 9/11/11.**

Personne	Fonction pour la de thèse et spécialité	Commentaires
M.Sedogo	INERA, Directeur de thèse, Agro-pédologue	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Bonne maîtrise et progrès importants</li> <li>. Nécessité d'une discussion générale à la suite des 4 articles (chapitres).</li> <li>. Nécessité dans la problématique de justifier l'insertion des légumineuses par une synthèse des résultats obtenus</li> <li>. Apport important à mettre en avant dans la discussion générale : relation entre C et P du sol.</li> </ul>
H.Nacro	IDR, Président, Spécialiste sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Bien relier le facteur pluviométrique aux itinéraires techniques et efficience économique</li> <li>. Nécessité de mettre un schéma conceptuel en introduction de manière en montrer le lien entre les différents chapitres</li> <li>. Rajouter une variable explicative concernant l'effet passé cultural</li> </ul>
B.Baycé	IDR, Rapporteur, Spécialiste sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Le lien entre EMP et amélioration de la fertilité doit être mieux explicité</li> <li>. Distinguer variables mesurées et variables calculées</li> <li>. Donner des informations sur la diversité des sols au niveau des 7 villages</li> </ul>
I.Somba	IDR, Rapporteur, Agronome	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Critère de choix des producteurs</li> <li>. Expliciter le choix du Mucuna</li> <li>. L'avis d'un socio-économiste pourrait être utile</li> <li>. Quel est le niveau d'adoption des associations maïs-niébé et maïs-Mucuna ?</li> </ul>
E.Vall	CIRAD, Encadreur, Démarche participative	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Satisfait de l'intégration de la démarche participative utilisée par le projet Fertipartenaires (RAP)</li> </ul>
P.Autfray	CIRAD, Encadreur, Agro-pédologue	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Problématique : bien introduire l'EMP</li> <li>. Hypothèses : à reprendre</li> <li>. Bibliographie : à renforcer en prenant des articles majeurs</li> </ul>

Pour aider à la formalisation de la thèse nous avons sur la **Figure 1** présenté comment on pouvait présenter les variables dans l'ensemble du travail de thèse. Une liste des variables avec leurs caractéristiques est donnée dans le **Tableau 5**.

Puis nous avons pour répondre à la demande de ce comité de présenter un schéma conceptuel explicitant mieux la démarche et le lien entre les différents chapitres (**Figure 2**).

Un deuxième comité de thèse est prévu en février-mars 2012, avec une soutenance au plus tard en septembre 2012.

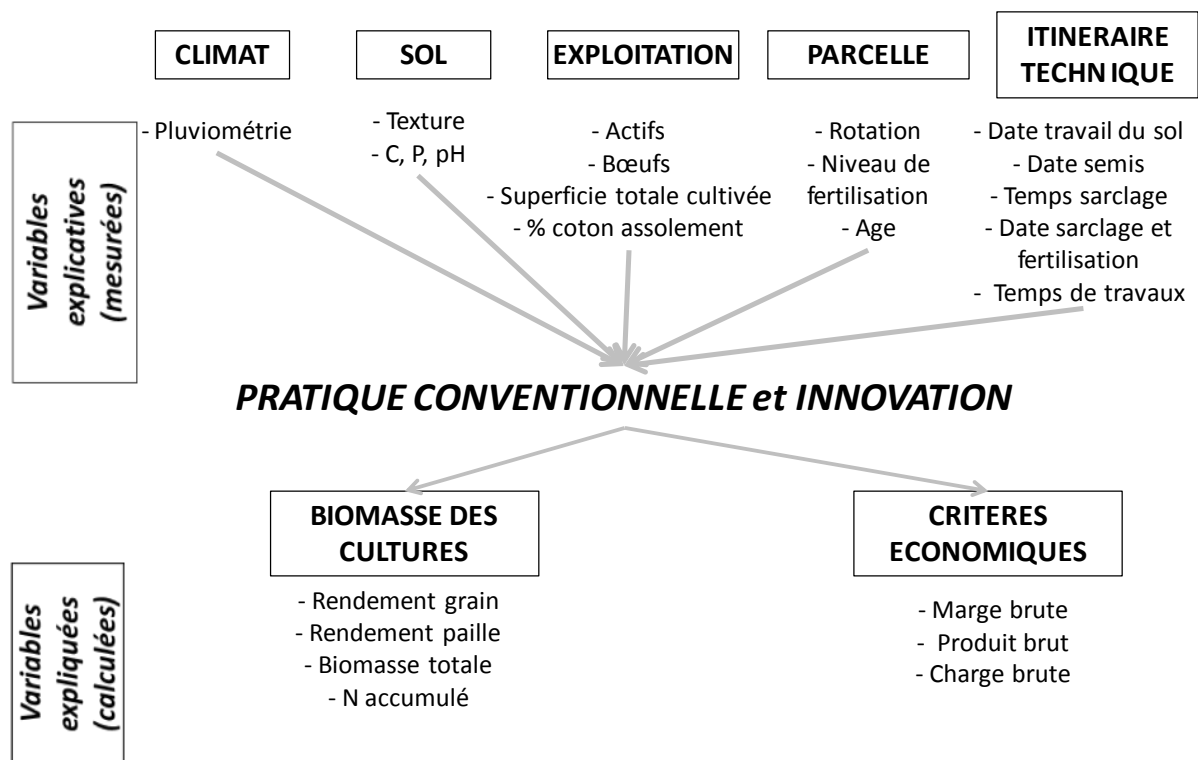


Figure 1. Les 2 types de variables.

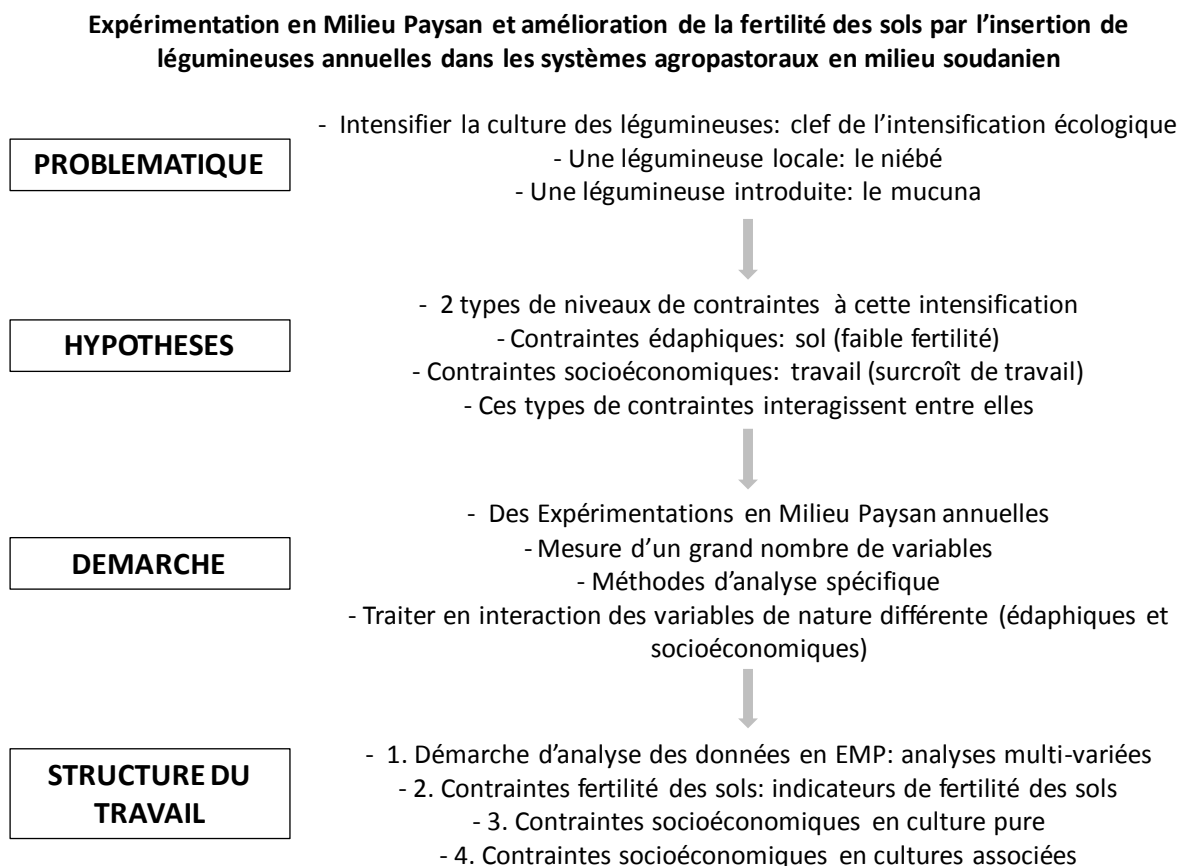


Figure 2. Le lien entre les différentes parties de la thèse avec un plan proposé pour l'introduction à la thèse.



**Tableau 4. Bilan avancement thèse : Insertion des légumineuses annuelles dans les systèmes agropastoraux en milieu soudanien dans le cadre d'une démarche EMP : Etude de cas dans la Province de Tuy dans l'Ouest du Burkina-Faso dans les systèmes de cultures à base de maïs (2010-2011)**

Chapitre	Sous-chapitres	Paragraphes	Avis du comité de thèse	Perspectives
Problématique/Etat de l'art	. Amélioration de la fertilité . Insertion des légumineuses	. Fertilité . Amélioration	. Justifier les légumineuses . EMP : expérimentation participative annuelle ; variables mesurées,	A rédiger ; bibliographie à organiser et compléter (200 références)
Objectifs/Hypothèses/Sites et dispositif/Structuration	. Objectifs/Hypothèses/Dispositif . Structuration	. Objectifs . Hypothèses . Dispositif . Structuration	. Caractérisation des sols par village . Choix des producteurs, systèmes de cultures, légumineuses, variables . Schéma conceptuel	A rédiger
Exploitation des données à l'échelle parcellaire dans le cadre d'une démarche de recherche-action en partenariat (RAP)	. La démarche RAP . Etude de cas dispositif TSS 2010- 2011 . Données agro-économiques mesurées . Analyse comparée par ANOVA, ACP, CAH		. Limites des approches classiques	Article à soumettre en rajoutant une expertise sur les analyses multivariées
Effets de la culture permanente coton-maïs sur l'évolution d'indicateurs de fertilité des sols	. Effet de la durée sur le sol . Effet du sol sur le maïs . Effet sur les légumineuses			Soumis à IJBCS : International Journal of Biological and Chemical Science Possibilité autre revue en couplant avec Mali
Performances technico-économiques des cultures pures de légumineuses	. Caractérisation des sols . Calculs agro-économiques 2010-2011			Article à soumettre
Performance Technico-économique des associations maïs-niébé et mucuna en situation réelle	. Calculs agro-économiques 2010			Soumis à Tropicultura  Possibilité autre revue données 2011 (LER)
Conclusion générale : discussion	. Synthèse des 4 chapitres . Perspectives:	. Méthodologique . Scientifique . Développement	. Acquis scientifiques : C / Pass . Acquis méthodologiques : analyse multi-variée . Acquis pour le développement : selon les types de producteurs . Limites : difficultés de la démarche participative	A rédiger

**Tableau 5. Liste des variables explicatives (mesurées) et expliquées (calculées) possibles pour chaque chapitre de thèse.**

Domaine de la variable	Nom de la variable	Cultures concernées	Chapitre de la thèse	Caractéristique
Climat : pluviométrie réelle	Pluviométrie semis-récolte	Maïs, niébé, mucuna	DA CP CA	mm cumulés relevé avec un poste pluviométrique par village
	Pluviométrie phase installation	Maïs	DA CA	
Sol (0-10 cm)	% gravillons ou éléments grossiers (EG)	Maïs, niébé, mucuna	FS CP	% pondéral par mesure
	% argiles			10 classes différentes entre 2 et 25% par test manuel
	% carbone total			% pondéral : de 0 à 100%
	pH eau et KCl			Unités : entre 4 et 7
	Phosphore assimilable			mg / kg sol méthode Bray 2
Exploitation	Actifs	Maïs, niébé, mucuna	DA CP CA	Estimé par enquête ; considérées comme variables supplémentaires dans l'ACP
	Superficie totale			
	Nombre bœufs			
Parcelle	Age	Maïs, niébé, mucuna	FS CP CA	Estimé par enquête
	Précédent fertilisation les 3 dernières années	Maïs, niébé, mucuna	FS CP CA	8 classes différentes entre 0 et 1.99
Itinéraire technique	Fumure organique	Maïs	DA	Mesuré au champ (kg/ha)
	Date de travail du sol	Maïs	DA CP	Date transformée en chiffre (base exell : 1/1/1900=1) en associant les 2 années pour une même année
	Date de semis	Maïs, niébé, mucuna	DA CP CA	
	Ecart entre sarclage et semis	Maïs, niébé, mucuna	DA CP CA	Nombre de jours
	Ecart entre apport de complexe et semis	Maïs	DA CA	
	Ecart entre apport d'urée et semis	Maïs	DA CA	
	Densité à la récolte	Maïs, niébé, mucuna	DA CP CA	pieds/ha pour maïs ; poquets / ha pour niébé et mucuna
	Temps de travaux (hors récolte)	Maïs, niébé, mucuna	DA CP CA	jours / ha
	Quantité d'urée	Maïs	DA	kg / ha estimé par enquête
Quantité de complexe	Maïs	DA		
Biomasse des cultures	Rendement grain	Maïs, niébé	DA FS CP CA	kg / ha à 13% humidité
	Rendement tiges :feuilles :fanes	Maïs, niébé, mucuna	DA FS CP CA	kg / ha de MS
	N accumulé	Niébé, mucuna	CP CA ( ? )	kg / ha
	Land Equivalent Ratio (grain)	Maïs, niébé, mucuna	CA ( ? )	Rapport théorique variant généralement entre 0.8 et 2
Critères économiques	Produit brut	Maïs, niébé, mucuna	DA CP CA	En FCFA / ha : rendement * prix champ
	Charge brute			En FCFA / ha : coût intrants + Main d'œuvre familiale et salariée
	Marge brute			En FCFA : Produit brut – Charge brute
DA, FS, CP, CA, correspondent à des abréviations des 4 chapitres respectives de la thèse : démarche d'analyse, fertilité sol, cultures pures et cultures associées				

### 2.3 Premier projet d'article : démarche analyse de données en EMP (DA)

Nous conseillons de reprendre cet article en reprenant le plan et les phrases majeures suivantes :

#### INTRODUCTION

*L'expérimentation en milieu (EMP) a pour objectif d'évaluer l'adaptabilité d'innovations mises au point en situation contrôlée.*

*Les facteurs de variabilité en milieu réel sont plus importants par rapport au milieu confiné où les innovations ont été créées.*

*Les facteurs de variabilité sont multiples à la fois de nature biophysique (sol, climat) et socioéconomique (facteurs de production).*

*En général les études comparant des traitements avec des analyses classiques de variance montrent leurs limites par rapport à une telle variabilité et les analyses multi-variées restent essentiellement descriptives*

*L'objectif de ce travail est de proposer une série d'analyse qui permettent d'utiliser la variabilité du milieu comme source d'enseignement relatifs à la diversité des conditions biophysiques et socioéconomiques à laquelle est soumise généralement les exploitations agricoles.*

*L'étude de cas porte sur l'effet de 2 traitements conduits dans le cadre d'une expérimentation participative avec des itinéraires techniques plus ou moins contrôlé*

*A partir d'un ensemble de mesures s'avérant à priori comme des sources connues de différenciation de l'efficacité des systèmes), la démarche proposée associe 4 outils d'analyse successifs qui apportent à chaque une information supplémentaire.*

#### CONCLUSION

*La démarche d'analyse proposée dans le cadre de cette EMP associe successivement : (i) une ANOVA générale sur l'effet de traitements ; (ii) une ACP pour la réalisation d'une matrice de corrélation de 15 variables associées à la différenciation de ces traitements ; (iii), une CAH permettant la constitution de groupes statistiquement semblables; et (iv) des ANOVA sur l'effet des traitements au sein de ces différents groupes.*

*Nous avons ainsi montré que chaque étape analyse apporte un renseignement spécifique qui permet de tirer parti de la variabilité du milieu et de mieux enrichir le débat possible avec les agriculteurs engagés dans le processus d'EMP.*

Dans le **Tableau 6** nous avons repris ce qui pourrait constituer une synthèse de l'article.

**Tableau 6. Démarche globale conseillée pour l'article analyse de données en EMP.**

Etape	Question posée	Hypothèse	Méthode	Résultats
1 Bien traitée dans le projet d'article	Quel est l'effet moyen d'un traitement	Pas d'effet exploitation Pas d'effet année	ANOVA 2 traitements 40 répétitions 15 variables	Le TSS permet de travailler le sol et de semer plus tôt  Exige plus de travail  Pas de différence de rendement
2 A reprendre	Quelles sont les variables liées aux ITK qui influent sur les performances des systèmes	Les variables explicatives choisies sont pertinentes pour expliquer les variables expliquées Pas d'effet année	ACP 40 observations 10 variables explicatives 5 variables expliquées	A faire : quelles sont les variables corrélées entre elles
3 Bien traitée	Les caractéristiques des exploitations ont-elles un impact sur les pratiques et l'efficacité des systèmes	Les variables choisies sont pertinentes pour former des groupes différenciés d'agriculteurs Pas d'effet année	CAH  18 variables	L'efficacité n'est pas reliée à des caractères de structure d'exploitation  Le groupe le plus efficace a les meilleures densités  Ce qui différencie les 2 autres ce sont le niveau d'apport en fertilisant
4 Bien traitée	Quel est l'effet des 2 traitements selon le groupe	Les traitements ont des effets similaires au sein de chaque groupe	ANOVA 2 traitements 5 à 10 répétitions 15 variables	C1 : Le labour offre de meilleures densités C2 : effet de la date de semis C3 : aucune différence significative

L'originalité vient d'une succession d'analyse associant ANOVA général sur l'effet des traitements une ACP, suivi d'une CAH et enfin d'une ANOVA qui permet d'enrichir les informations par rapport à une simple analyse de comparaison d'effets des traitements au moyen d'une analyse de variance classique. Dans le cas présent l'ANOVA est premièrement utilisée dans l'article « Partenariat, Modélisation, Expérimentation : quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique » considère 1 seul facteur, avec 40 répétitions (23 en 2010 et 17 en 2011) avec donc les hypothèses suivantes :

- Il n'y a qu'un seul facteur de variation principal, l'effet traitement « travail en sol sec » ou « labour » ;
- On ne tient pas compte de l'effet « agriculteur » ni de l'effet « année ».

L'analyse réalisée (Tableau 1 de l'article) offre une information limitée : sur 15 variables comparées, 3 s'avèrent montrer des différences significatives, avec des niveaux d'information relativement limités :

- La date de travail du sol est significativement plus précoce avec la pratique TSS (Travail en Sol Sec) ;
- La date de semis est aussi plus précoce avec TSS (on ne gagne que 7 jours en moyenne)
- Les temps de travaux avec la pratique TSS (Travail en Sol Sec) est beaucoup plus importante.

L'ACP est la méthode de base des analyses multidimensionnelles ou factorielles qui est plus centrée sur l'analyse des relations entre variables (la CAH est plus centrée sur l'analyse des individus). Elle nécessite l'utilisation de variables quantitatives ou numériques notamment quand elles dépassent 4 variables dites explicatives. Ces variables peuvent être soit continues (poids, coût, revenus) ou discontinues (un nombre de valeurs limitées comme dans notre cas les teneurs en argiles, l'effet précédent sur les 3 dernières années). Généralement l'ACP est utilisée pour :

- Visualiser des individus communs ;
- Des groupes de variables corrélées ;
- Un point de départ pour réduire des variables.

Le nombre d'axes principaux à choisir est donné par 2 indices :

- Il faut expliquer au moins 75% de la variabilité ;
- On doit prendre les axes qui ont un indice de Kaiser ou valeur propre (variance de la composante principale) > 1
- Dans l'exemple du Tableau suivant tiré il faudrait normalement travailler sur 4 axes et faire les 3 représentations graphiques suivantes F1/F2, F1/F3, F1/F4

**Tableau 7. Exemple de tableau issu d'une ACP et donnant le nombre d'axes à considérer.**

Axes	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	5.587	3.018	1.921	1.409
Variabilité (%)	34.922	18.861	12.009	8.805
% cumulé	34.922	53.782	65.791	74.596

La première composante fait ressortir toujours des informations évidentes. Les autres composantes sont plus intéressantes pourvu qu'elles aient un poids minimal.

Nous conseillerons donc de reprendre l'ACP pour la représentation des variables avec 4 axes sur 3 cartes de manière à expliquer une plus grande variabilité (variabilité expliquée de 53.78% avec 2 axes et de 74.59% avec 3 axes). L'ACP réalisée dans le fichier exell donné avec les 2 premiers axes indique principalement que le rendement en maïs (tiges ou grain) est fortement liée à sa densité et à son niveau de fertilisation en N et NPK.

Si la représentation des 3 cercles peut-être trop lourde nous conseillerons soit :

- d'adopter la représentation donnée par Sanogo et al. 2010 (voir sa Figure 1. Contribution des variables à la formation des composantes) ;
- soit de reprendre l'analyse en regroupant des variables corrélées entre elles.

Il est nécessaire également d'effectuer un test de sphéricité (Test de Bartlett) qui doit être significatif si l'on veut utiliser l'ACP.

Nous enlèverions donc la carte des individus de la Figure 2 qui représente des groupes (ce que fait mieux la CAH, puisqu'il y a un outil statistique derrière) en la remplaçant par une analyse des variables.

La CAH a donc pour objectif de réaliser des groupes d'individus ayant des caractéristiques homogènes. Ces groupes entre eux doivent être le plus différent possible. Pour cela la méthode de Ward est utilisée, avec une méthode d'aggrégation pas à pas.

## 2.4 Deuxième projet d'article : Evolution de la fertilité du sol (FS)

L'originalité de ce travail est de confirmer toute la complexité relative à la notion de fertilité des sols montrée dans des conditions similaires au Sud du Mali.

Le principal résultat vient du fait d'avoir montré que 2 indicateurs de la fertilité des sols évoluent en fonction de l'âge de mise en culture de manière opposée : alors que les teneurs en C du sol à sa surface diminuent au cours du temps, et avec les conséquences négatives que l'on connaît, les teneurs en phosphore assimilable augmentent au cours du temps, par l'effet des apports répétés des fertilisations de synthèse utilisant des complexes fortement enrichis en phosphore.

Concernant les données sol, nous préférons avant d'aller plus loin dans l'analyse, attendre les tests de granulométrie qui ont été demandés (**Annexe 3**). Ce paramètre sera essentiel pour expliquer la variabilité des données.

Nous suggérons d'essayer de faire un tableau de ce type, donné à titre d'exemple auquel pourrait-être joint une toposéquence type avec la place de ces types de sol dans la topo-séquence.

**Tableau 8. Présentation des sols associant connaissance des agriculteurs et mesures : modèle à renseigner après avoir fait les tests de texture manuels.**

Milieu	Nom vernaculaire de sol	Nombre de sol	% argiles moyen (ETM)	% EG (ETM)
Cultivé	Sableux			
	Gravillonnaire			
	Argileux			
Non-cultivé	Sableux			
	Gravillonnaire			
	Argileux			

Nous avons mis en **Annexe 5** les résultats comparatifs de 2 méthodes d'analyse du phosphore assimilable réalisées sur 2 séries d'échantillon qui montre bien la complexité du sujet. La méthode

utilisée au début (Bray 2) offre des valeurs moyennes 2 fois inférieures à celle d'Olsen-Dabin et sera forcément moins discriminante.

## 2.5 Troisième projet d'article : Performances techniques et économiques des cultures pures de légumineuses (CP)

Des résultats d'analyse nous sont parvenus récemment. Les données en N seront utiles pour donner une première indication de qualité fourragère. Nous avons envoyé le projet de publication avec des annotations pour un début d'amélioration.

## 2.6 Quatrième projet d'article : Performances techniques et économiques des cultures associées céréales-légumineuses (CA)

Voir **Annexe 7**.

# 3 PERSPECTIVES DANS LE CADRE D'ABACO

Ces conseils ne sont donnés qu'à titre indicatif (**Tableau 9** ; hors Projet Fertipartenaires).

**Tableau 9. Les 3 différents principes de l'Agriculture de Conservation selon le type d'EMP.**

Type EMP	Thème : travail minimal du sol	Thème : rotation de culture-diversification-introduction de légumineuse	Couverture permanente
Milieu réel contrôlé (MRC) = dispositif pérennisé	X	X	X
Milieu réel semi-contrôlé (MRSC) Parcelles annuelles	X	X	

On pourrait imaginer que le MRC comporte 2 sites avec 2 agriculteurs pilotes par site (Koumbia et Karaba). Ces EMP serviraient de référence pour le MRSC comportant que des parcelles annuelles.

Concernant le premier thème, travail minimal du sol, il faudrait :

- Tester l'association dent IR12 avec semis manuel en période de pluies
- Introduire de Chine des nouveaux outils de semis manuel (nous contacter) ; voir **Annexe 9**

Concernant le second thème, il serait conseillé de travailler sans le coton avec des systèmes à base de céréales : exemples, parcelles pérennisées de maïs-mucuna ou maïs-niébé, voir sorgho-niébé. On conseille ici de se focaliser fortement sur cette étape essentielle de cultures associées et de tester de nombreux arrangements possibles.

Nous restons à l'entière disposition de l'équipe pour de plus amples détails.

## ANNEXE 1

### Rapport succinct envoyé sur base information Cirad

L'objet de cette quatrième et dernière mission d'appui au Projet Fertipartenaires a été focalisé sur la valorisation scientifique du travail de terrain réalisé par K.Coulibaly, agronome contractuel du Projet au CIRDES et la tenue de son comité de thèse à l'Université de Bobo-Dioulasso.

La mission a permis de définir avec l'intéressé et le responsable de Projet, Eric VALL, CIRAD UMR SELMET, les articles qui devront constituer le corps de la thèse et de présenter cela devant les autres membres de son comité. Les 3 chapitres seront les suivant :

- démarche d'analyse en expérimentation en milieu paysan non-contrôlée
- évolution d'indicateurs de la fertilité des sols et rendement en maïs
- insertion de légumineuses annuelles dans les systèmes de production

Le bilan a été favorable puisque le comité a apprécié les progrès accomplis par l'intéressé, l'importance du travail entrepris et la nouveauté de ces résultats.

Un appui à distance de l'intéressé continuera à être apporté pour une soutenance de thèse prévue en juin 2012. Les données de terrain sont disponibles. Des analyses complémentaires de plantes et sol sont en cours.

## ANNEXE 2

### Valeur de l'effet précédent pour les analyses multi-variées

Note explicative : cette valeur estime grossièrement l'effet précédent lié à la fertilisation minérale avec des engrais complexes selon l'application on non jusqu'à 3 années en arrière en supposant que :

- L'utilisation de coton et de maïs occasionne forcément l'utilisation de complexe ;
- Que l'effet est dégressif selon les années avec une valeur de 1 en cas d'application l'année précédente, une valeur de 0.66 il y a 2 années et une valeur de 0.33 il y a 3 années ;
- On suppose que c'est le phosphore assimilable qui joue un rôle arrière-effet.

Cette valeur qui comprend ainsi 8 possibilités peut-être utilisée dans les ACP comme variable quantitative ; son utilisation lors d'une ACP réalisée sur les rendements du Mucuna lors de la campagne 2009 s'était révélée intéressante.

Nombre d'année avant la mise en culture			
3ième	2ième	1ere	valeur
0.33	0.66	1	1.99
0.33	0.66	0	0.99
0.33	0	1	1.33
0.33	0	0	0.33
0	0.66	1	1.66
0	0.66	0	0.66
0	0	1	1
0	0	0	0



## Test manuel pour l'estimation de la teneur en argiles

Note explicative : cette méthode estime précisément (à 2% près) la teneur en argiles jusqu'à un seuil de 17.5% ; elle parfaitement adaptée à être utilisée lorsque les sols sableux domine ; elle a été validée au Sud Mali avec des types de sol très similaires à ceux du Projet (vérifié à partir de la carte géologique) ; 10 valeurs estimées peuvent être ainsi faites et utilisées dans le cadre d'une ACP

Test manuel	Quantité d'argiles	Type de terre
On ne pas faire de motte	2% maxi	Sableuse = Terres légères
On fait une motte	3.5%	
On fait une boule	5%	
On fait un cylindre qui se brise dès qu'on le touche	6.5%	
On fait un cylindre qui se brise à un angle de 30°	8.5%	
On fait un cylindre qui se brise à un angle de 60°	11%	Sablolimoneuse = Terres franches
On fait un cylindre qui se brise à un angle de 90°	12%	
On fait un cylindre qui se brise à un angle de 120°	13.5%	Limonosableuse à argileuses = Terres lourdes Argileuses
On fait un cylindre qui se ferme complètement°	17.5%	
On fait un cylindre dont les bouts se croisent	> 25 %	

## La notion de barres d'erreur en statistiques

Note explicative :

En anglais on parle de *standard-error*

En langage scientifique français on parle d'écart-type de la moyenne (ETM)

Cette valeur est très importante et doit être mise en accompagnement à toute moyenne chiffrée soit sous forme de barres d'erreur X et Y avec exell au niveau de figures, soit entre parenthèses au niveau d'un tableau.

On doit donner au niveau du tableau ou de la figure le nombre de valeurs concernées (exemple, n = 4).

ETM = écart-type / Racine (n)

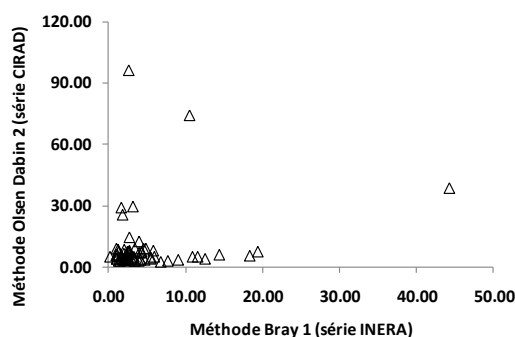
Cette valeur a une signification statistique directe : si sur la figure les barres d'erreur se chevauchent, cela signifie que quelque soit le test effectué, il n'y aura pas de différence significative entre les moyennes.

**Corrélation entre 2 séries d'analyse de Phosphore assimilable : Méthode Bray 1 (INERA) et Olsen-Dabin 2 (CIRAD)**  
**Première série d'échantillons analysés ; 70 au total en appui au Chapitre 2**

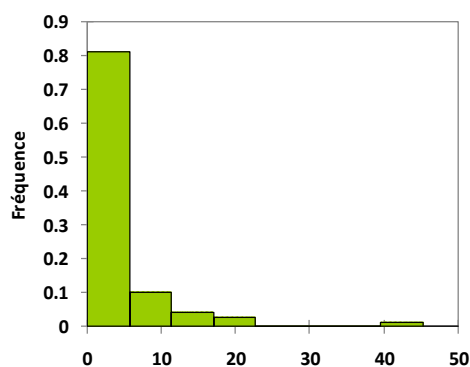
Premiers commentaires (d'autres seront formulés ultérieurement) :

- Les valeurs sont généralement faibles ; les distributions avec les 2 analyses montrent que 80 à 90% des échantillons ont de faibles valeurs, ne dépassant pas 6 mg/kg sol pour la méthode Bray 1 et 12 mg/kg sol pour la méthode Olsen Dabin 2
- Les fortes valeurs peuvent être expliquées en sols cultivés par des apports conséquents en fumure organique (riche en phosphore assimilable) ; en sols non cultivés il existe une forte variabilité des valeurs relevées liées certainement à des facteurs biologiques à expliciter
- La corrélation entre les 2 méthodes n'est pas bonne ; il se pose peut-être un problème de qualité de broyage des échantillons ; nous contacterons les laboratoires concernés.

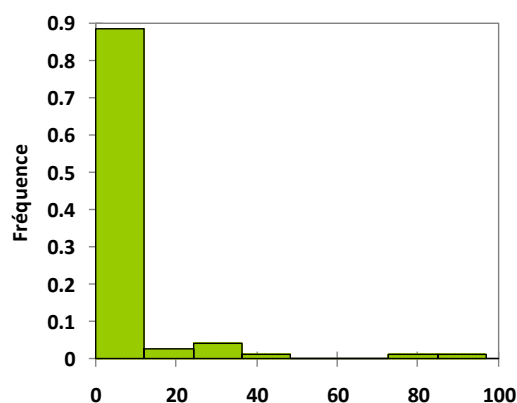
**P assimilable en mg/kg sol**



**Histogramme Méthode Bray 1**



**Histogramme Méthode Olsen dabin 2**



Extrait de la carte géologique de l'Afrique éditée par l'UNESCO, 1/5.000.000, Paris, 1963  
Axe Bobo-Dioulasso/Ouagadougou



Note explicative : le substratum géologique dominant est constitué par le socle ancien d'âge précambrien et primaire ; les formations dominantes sont des grès qui ont des compositions variées pouvant donner des sols avec des compositions en sables différenciés dans leur granulométrie ; des sols développés sur schistes peuvent localement apparaître donnant des sols à texture beaucoup plus fine ; une attention particulière doit être donnée aux intrusions de roches vertes ou basiques, donnant des sols riches en gravillons (concrétions mangano-ferriques et des sols chimiquement plus riches

Importance de la formation	Type de roche dominante	Couleur	Age série géologique	Localisation par rapport à l'axe Bobo-Dioulasso/Ouagadougou
Dominante	Grès, schistes	Rose pointillé	Précambrien	Est
		Orange pointillé		Centre
		Marron clair		Centre
		Vert clair	Primaire	Ouest
Intrusive	Granites	Rouge vif	Précambrien et primaire	Centre
	Roches vertes ou basiques	Violette		Eparpillé
		Verte		

Article/Artikel Nr : 3224

**Titre/Title :** Performance technico-économique des associations maïs/niébé et maïs/mucuna en situation réelle de culture au Burkina Faso : potentiels et contraintes

**Auteurs/Authors:** K. Coulibaly, E. Vall, P. Autfray & P.M. Sedogo

**Recommandations du lecteur/Referee's recommendations/**

**Raadgevingen van de lezer**

**Manuscrit/Manuscript Accepted if modified** x

### **Justification de votre opinion/Justification of your opinion/Rechtvaardiging van uw opinie**

-Le thème du manuscrit soumis traite d'une problématique importante

- Encore trop de lacunes de forme et de fond pour être publié tel quel dans la revue.

- **L'emploi de l'abréviation ITK pour itinéraire technique prête à confusion.** Je suggère pratiques culturales
- **Il est important de préciser quels sont les paramètres qui sont le plus fortement corrélés aux axes retenus au niveau de l'ACP.** Oui ; voir les recommandations générales faites dans le rapport. L'ACP doit être utilisée principalement pour les variables et garder la CAH pour les individus.
- **Dans les tableaux 1 et 2, il serait bon de mettre l'écart-type de toutes les moyennes.** Oui c'est justifié ; voir Annexe 4.
- **Dans le tableau 1, on se demande comment la date moyenne d'application de l'herbicide peut se situer avant la date moyenne du labour pour le groupe G2.** A vérifier en précisant peut-être quel type de traitement herbicide est effectué dans la méthodologie : herbicide total avant semis ou herbicide de prélevée juste après semis ou herbicide de post-levée.
- **Dans le tableau 1, selon les résultats de votre analyse statistique, il existe une différence significative pour le paramètre « date herbicide » mais toutes les moyennes présentes la lettre a en exposant. Si la différence est effectivement significative, la lettre b devrait figurer en exposant au moins à côté d'une des moyennes.** A vérifier
- **Dans le tableau 2, les données présentées pour la « date de sarclage » sont incohérentes (que signifie 0,50 et 0,67 pour une date moyenne ?).** Préciser qu'il s'agit d'écart entre dates.
- **De plus, s'agit-il d'une « date sarclage » ou d'une « date herbicide » comme présenté dans le tableau 1 ?** Idem
- **Afin de pouvoir comparer les performances du maïs en culture pure et en culture associée, il serait bon d'introduire deux nouveaux tableaux qui remplaceraient le tableau 3.** Chacun de ces tableaux reprendraient les données concernant l'itinéraire technique suivi et les performances obtenues dans les parcelles de culture pure du maïs (soit tous les paramètres concernant uniquement le maïs dans les tableaux 1 et 2). Donc faire un premier tableau « comparaison des performances du maïs en culture associée par rapport au maïs en culture pure : cas de l'association maïs » et un deuxième pour le niébé en comparant l'ensemble des variables des tableaux 1 et 2
- **Dans tous les tableaux, il serait judicieux d'ajouter la marge par journée de travail (FCFA/jour) car la productivité du travail est très importante pour évaluer les performances d'un système de culture.** A faire ; j'avais dans un rapport précédent évoqué l'intérêt de cette donnée : on parle effectivement de productivité du travail.
- **L'adjonction des deux nouveaux tableaux permettra d'avoir une idée de l'influence des différentes composantes des itinéraires techniques appliqués sur les rendements en grain et en paille du maïs en culture pure.** Oui, car on peut estimer que la parcelle est faite pour produire du maïs principalement puisqu'on a décidé de le planter comme en culture pure ; dire quelque part dans la méthodologie que c'est cela qui avait décidé avec les paysans, la légumineuse n'étant qu'une plus-value.

- **Actuellement, selon les données présentées dans les tableaux 1 et 2, ce sont les parcelles avec les plus forte populations de plantes de maïs par unité de surface qui donnent les meilleurs rendements dans le cas de la culture associée du maïs avec le niébé.** Oui pour des dates de semis comparables entre G1 et G2
- **Et ce sont celles qui présentent les plus faible densités de plantation qui donnent le meilleur rendement dans les parcelles de culture associée avec le mucuna.** Non pas uniquement ce facteur puisque les dates de semis sont très différentes (1 mois d'écart)
- **La deuxième situation peut s'expliquer par une plus forte concurrence entre les plantes (maïs et mucuna) en cas de forte densité totale de plantation.** Je ne le pense pas ; le mucuna a peu produit parce que planté tard ; le succès est le semis précoce pour les associations, à la fois pour le maïs et le mucuna
- **Les données correspondant à la première situation signifieraient que le niébé serait moins concurrentiel que le mucuna puisque les meilleurs rendements sont obtenus pour les plus fortes densités de deux composantes de l'association.** Il faudrait rajouter dans la méthodologie que les densités de semis et les dates de semis choisies des légumineuses par rapport au maïs ont été fixées par la recherche en l'absence de connaissance sur ce sujet des agriculteurs, à partir notamment d'expérimentations en situations contrôlée, de manière à éviter la concurrence, à faciliter la gestion et à maximiser la biomasse totale produite.
- **Une autre explication pourrait être que le potentiel de fertilité des parcelles à haute densité de plantation du maïs et du niébé est meilleur, soit du fait de leur meilleure économie en eau et d'une meilleure disponibilité en éléments nutritif, soit du fait d'un meilleur contrôle des adventices, ou suite à une combinaison de l'ensemble de ces explications.** A toi de voir Kalifa mais il me semble que les conditions pluviométriques, les dates de semis et les réussites de ces semis ont conditionné beaucoup les densités à la récolte et le résultat final est un produit des densités et des dates de semis liés aux pluviométries journalières ; pourquoi ne pas proposer une figure avec les différentes pluviométries cumulées pour les différents villages ? Cela confirme bien les remarques du comité de thèse et mon obstination à proposer l'achat de pluviomètres depuis le début des EMP du Projet.
- **L'ajout des tableaux demandés concernant les caractéristiques de la culture pure du maïs devrait permettre d'y voir un peu plus clair à ce niveau.** C'est vrai tout en laissant le Tableau 3.
- **Dans les conclusions, il faudra mettre en évidence ces informations et insister sur le fait que les meilleurs résultats en cas d'association du maïs avec le niébé et du maïs avec le mucuna sont obtenus pour un semis précoce.** Oui cela peut-être une conclusion majeure et confirme ce que je disais plus haut. Et par rapport à ce résultat il faudra donner quelques pistes de solutions pour faire face aux aléas climatiques. En reliant parcelle par parcelle, densité et pluies, tu devrais avoir peut-être une idée ou alors les agriculteurs n'ont guère de choix.
- **Si les divergences dans l'influence de la densité de plantation constatées entre les associations maïs/niébé et maïs/mucuna se confirment, il faudra également signaler celles-ci dans la partie discussion et préciser dans la conclusion qu'il vaudrait sans doute mieux appliquer des densités de plantation plus faibles en cas de culture associée du maïs avec le mucuna.** C'est effectivement à mettre dans les perspectives : y aurait-il selon toi des améliorations des pratiques des associations proposées : dates de décalage des semis, densités, mode d'agencement, double-rang, ....
- **La référence 14 n'est pas citée dans le texte. Il faut la supprimer ou l'introduire dans le texte du manuscrit.**

## ANNEXE 8

### Bibliographie à intégrer

Pour les méthodes utilisant ACP et CAH

- Ralisch, 2010
- Sanogo, 2010

Pour l'EMP

- Francis,
- Franzel,

Pour les légumineuses et cultures associées

- Cherr, 2006
- Baldé, 2011
- Workayehu, 2011
- Adler, 2007

Pour la fertilité

- Gray, 2003

Cet outil a été présenté lors du WCCA de Brisbane (Australie) en Octobre 2011 ; il coûte en Chine environ 30 \$, soit 20.000 FCFA. Il est par rapport à l'outil brésilien (canne planteuse) d'une technologie plus avancée qui permet de semer et de localiser l'engrais à côté.

